

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 02106917
PUBLICATION DATE : 19-04-90

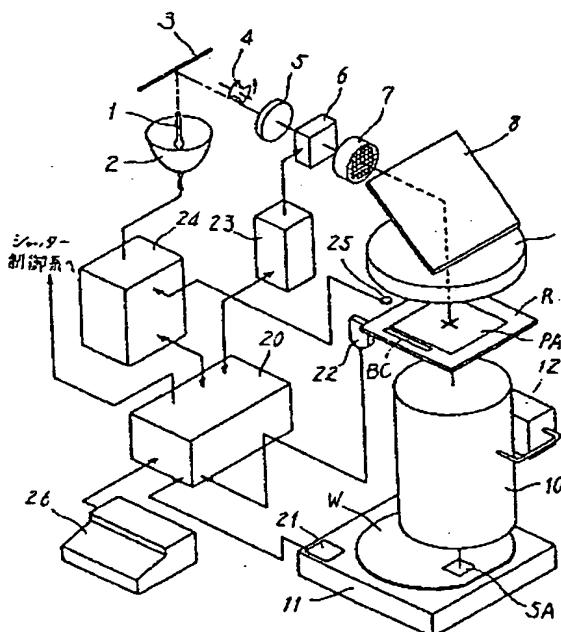
APPLICATION DATE : 17-10-88
APPLICATION NUMBER : 63261224

APPLICANT : NIKON CORP;

INVENTOR : SUWA KYOICHI;

INT.CL. : H01L 21/027

TITLE : ALIGNER



ABSTRACT : **PURPOSE:** To optimize exposing behavior conditions in response to transmittance by calculating energy amount stored in a projection optical system on the basis of the transmittance of a mask, the illuminance of an irradiated light or the exposing condition, and so regulating the illuminance of the radiated light as to be allowable storage energy amount or less.

CONSTITUTION: A main control system 20 outputs a drive command corresponding to an optimum attenuation amount to a drive system 23 of an attenuation filter 6 on the basis of a signal from an illuminance sensor 21 or a signal from a bar code reader 22. It also outputs a command for supplying suitable power corresponding to an exposure sequence to a power source 24 for driving a mercury lamp 1. The power source 24 confirms supplied power on the basis of a signal from a photoelectric sensor 25 for sequentially detecting the illuminance of the light radiated to a reticle R. The signal from the sensor 25 is also input to a shutter control system when the opening time of a shutter 4 is automatically controlled in an optical amount integration mode, information such as the opening timing of the shutter 4 is communicated, and the shutter 4i can be controlled in response to a set value from the system 20 in a timer mode.

COPYRIGHT: (C)1990,JPO&Japio

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑩ 日本国特許庁(JP) ⑪ 特許出願公開
⑫ 公開特許公報(A) 平2-106917

⑬ Int.Cl.³
H 01 L 21/027

識別記号 庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)4月19日

7376-5F H 01 L 21/30 3 1 1 L
7376-5F 3 0 1 G

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全12頁)

⑮ 発明の名称 露光装置

⑯ 特 願 昭63-261224

⑰ 出 願 昭63(1988)10月17日

⑱ 発 明 者 諏 訪 恭 一 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井
製作所内

⑲ 出 願 人 株 式 会 社 ニ コ ン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

⑳ 代 理 人 弁 理 士 渡 辺 隆 男

明 細 書

1. 発明の名称

露光装置

2. 特許請求の範囲

(1) マスク上の所定領域を照明光で照射し、該所定領域内に形成されたパターンの像を投影光学系を介して感光基板へ露光する装置において、

前記照明光のうち前記マスクを介して前記投影光学系へ入射する照明光のエネルギー量に応じた第1の情報を入力するための入力手段と;

前記パターンの像の前記感光基板への露光時間と非露光時間とに基づいて露光時間効率に関する第2の情報を予め算出するとともに、該第2の情報と前記第1の情報とに基づいて前記投影光学系に蓄積され得るエネルギー量に関する第3の情報を予め算出する演算手段と;

予め設定された前記投影光学系の許容蓄積エネルギー量に関する第4の情報と前記第3の情報とを比較し、その比較結果に基づいて前記照明光の照度を調整する照度調整手段とを備えたことを特

徴とする露光装置。

(2) マスク上の所定領域にエネルギー線を照射するエネルギー源と、前記エネルギー線の一部を吸収する特性を有し、前記マスクの所定領域内に形成されたパターンを感光基板へ投影する投影手段とを備えた露光装置において、所定の露光動作条件と前記エネルギー線の照度に応じた値とに基づいて、前記投影手段に蓄積され得るエネルギー量に対応した第1の値を算出し、予め設定された許容蓄積エネルギー量に対応した第2の値との大小関係を算出する演算手段と;

該演算結果に基づいて、前記エネルギー源、もしくは前記露光動作条件が許す範囲内で、前記第1の値が前記第2の値以下で最大となるように前記エネルギー線の照度を調整する調整手段とを備えたことを特徴とする露光装置。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は半導体素子等の製造に用いられる露光装置に関し、特に高い照度が得られるエネルギー

特開平2-106917(2)

源（放電灯、レーザ発振器等）をもつ露光装置に関するものである。

〔従来の技術〕

従来、この種の露光装置として、マスク、又はレチクルに形成されたパターン領域の像を、投影レンズ系を介して感光基板であるウェハ上へ投影するステップアンドリピート方式の投影型露光装置、所謂ステッパーが知られている。

現在、IC、VLSIの製造現場で使われているステッパーは、波長436nm（g線）、又は365nm（i線）等の光を発生する水銀放電灯（水銀ランプ）を露光用光源としている。このステッパーは、レチクルのパターンを1/1、1/5、1/10等に縮小してウェハ上に投影する投影レンズを有するが、その投影レンズは年々高分解能で、低いディストーション（像の歪み、倍率誤差等）のものが要求され、使用条件や環境条件による影響で生ずる結像特性の変動が無視できなくなっている。

そこで例えば特開昭60-78454号公報に

のショット領域をステップアンドリピート方式で露光していくため、各ショット領域毎の露光時間を短縮することで、1枚当りの処理時間を短くし、スループットを高めることが行なわれている。露光時間の短縮は、ショット領域に与えるべき適正露光量が定まっていることから、実際上は露光用照明光の照度を上げることで達成することになる。

しかしながら、スループットの向上をねらって高照度化すべく、照明系やランプの改良を重ねていくと、照明系が高照度化し過ぎてしまい、その結果投影レンズに吸収されるエネルギー量も増大し、投影レンズの熱収差へ悪影響を及ぼすとともに、その過大な蓄積エネルギー量によって結像特性の変動補正が不十分なものになるといった問題が生じる。このため、照明系からの照明光の照度は、一方的に増大させる訳にはいかず、投影レンズ固有の条件から、ある上限が定められていた。その上限を守る1つの手法として、ランプからレチクルまでの照明光路中で、投影レンズの瞳とはほぼ共役な位置に、光量減衰用の金属性のフィルタ

開示されているように、投影レンズの結像特性を変動させる1つの要因として、露光用照明光が投影レンズを通ったときに、照明光のエネルギーの一部が投影レンズに吸収されることに着目し、その吸収により生じる結像特性変動、特に倍率誤差、焦点誤差を演算により求め、それを補正することが知られている。

この従来の技術では、投影レンズにレチクルを介して入射する露光エネルギーの蓄積量を時々刻々演算で求めることで、等価的に結像特性の変動を予測している。そして算出された結像特性の変動の補正には、投影レンズ内の密封された空気間隔内の圧力を制御する方式、あるいは投影レンズとレチクル、又はウェハの機械的な間隔を調整する方式が採用されている。

〔発明が解決しようとする問題点〕

上記の従来技術によれば、露光エネルギーの一部吸収に起因した投影レンズの結像特性変動を極めて良好に、かつ安定して補正することができる。ところでステッパーでは、1枚のウェハ上の複数

を配置し、一定量だけ像面（レチクル面）照度を低下させることも提案されている。

このようなフィルターを設ける場合、フィルターの減衰率（透過率）は、使用し得るレチクルのうち最もパターン密度の低いレチクルを用いて、最もスループットの高い露光シーケンス（例えばファーストプリント）でステッパーを稼働させたときでも、投影レンズの蓄積エネルギー量が上限を超えない照度となるように選ぶ必要があった。

ところが、デバイス製造に用いられるレチクルは、回路パターンによって様々な透過率を有する。ここでレチクルの透過率とは、投影レンズの有効視野内、もしくはその視野内の予め定められた有効露光領域内にしめるレチクルのパターン領域中の透明部面積の割合を意味する。

例えば、配線用のパターンを有するレチクルの透過率は比較的高く、30～60%程度であるのに対し、コンタクトホール用のパターンを有するレチクルの透過率は、極めて低く3～6%程度と1/10位になっている。

特開平2-106917(3)

このため、配線層露光用の透過率の高いレチクルに対しては、投影レンズを限界に近い状態で効率的に使えるが、透過率の低いレチクルに対しては、投影レンズを限界から大幅に下回った状態で非効率的に使うことになってしまうといった問題があった。

そこで本発明では、上記のような非効率的な状態を改善し、透過率の低いレチクル（マスク）におけるスループットを向上させた露光装置を得ることを目的とする。

さらに本発明は、レチクル（マスク）の透過率に応じて露光動作条件の最適化を計り、デバイス製造時の装置稼働を、より効率的にした露光装置を得ることを目的とする。

〔問題点を解決する為の手段〕

まず本発明においては、露光用照明光、又はエネルギー線のマスク上、又は像面上での照度（単位時間あたりの照度）を可変にする調整手段を設ける。さらに、投影光学系（投影手段）にマスクを介して入射する照明光（エネルギー線）の一部

が、投影光学系に蓄積するエネルギー量（1枚のウェハの露光処理の間における平均蓄積エネルギー量、あるいは時々刻々変化する入射エネルギー量と発散エネルギー量との代数和）を、マスクの透過率、照明光の照度、又は露光動作条件の基づいて算出する。そして投影光学系に蓄積したエネルギー量が、予め定めておいた許容蓄積エネルギー量以下となるように、調整手段によって照明光の照度を調整するように構成した。

〔作用〕

本発明では、投影光学系に蓄積したエネルギー量が、投影光学系の結像特性に変動を与えるという現象に基づいて、蓄積エネルギー量に対応した値（情報）を予測演算により求めることで、蓄積エネルギー量が常に許容値以下になるように、露光動作を進めることができる。このためマスク、レチクルの透過率が高いときは蓄積エネルギー量の許容値を守るように動作し、レチクルの透過率が低いときは逆に許容値の範囲内で最大の照度が得られるように動作可能なので、透過率の低いレ

チクルによる露光処理はスループットが高まることになる。

〔実施例〕

第1図は本発明の第1の実施例によるステップパーの構成を示す斜視図であり、基本構成は特開昭60-78454号公報に開示されたものと同じである。

水銀ランプ1は、楕円鏡2の第1焦点に発光点が位置するように配置され、楕円鏡2で集光された照明光は、短波長域で反射率が高いダイクロイックミラー3で反射され、ロータリーシャッタ4のところで最小径に集束される。シャッタ4を通った照明光はレンズ系5、光量可変減衰フィルタ6を介して、オブチカルインテグレータとしてのフライアイレンズ7に入射する。フライアイレンズ7の射出端には多数の2次光源像が結像し、各2次光源からの光はミラー8で垂直に反射された後、コンデンサーレンズ9に入射し、レチクルR上で重畳される。このフライアイレンズ7とコンデンサーレンズ9の作用で、レチクルRにおけ

る照明光の照度分布は数%以下の極めて均一なものになる。

また、第1図では図示を省略したが、フライアイレンズ7とコンデンサーレンズ9との間には、例えば特開昭61-19129号公報に開示されているようなリレー系が設けられ、レチクルRと共役な像面が作られる。そしてこの共役像面には、レチクルRのパターン領域PAに合わせて照明領域を制限する可変照明視野絞り（レチクルブラインド）が配置される。

尚、レチクルRのパターン領域PAの周辺には、レチクルRに関する各種情報（レチクル名、パターン領域PAの大きさ、アライメントマークの位置等）がバーコードBCとして形成されている。

さて、パターン領域PA内には、クロム層等の遮光体で微細な回路パターンが形成されており、パターン中の透明部を通った照明光は、投影レンズ系10を介してレジストの塗布されたウェハWへ達する。ウェハWは、投影レンズ10に関してレチクルRと共役になるようにウェハステージ1

特開平2-106917(4)

1上に設置される。ウェハステージ11はx、y方向に2次元移動するとともに、レーザ干渉計により高精度に座標位置が計測される。セカンドプリントの場合、ウェハW上には複数のショット領域SAがマトリックス状に形成されている。

また、投影レンズ10には結像特性を補正するためのレンズコントローラ12が設けられている。このレンズコントローラ12は、先の特開昭60-78454号公報、又は特開昭61-19129号公報に開示されているように、投影レンズ10自体の倍率、焦点位置を圧力制御で微小量補正するとともに、投影レンズ10とウェハWとの間隔をフォーカスセンサーのオフセット調整で補正する機能を有する。

主制御系20は、ステッパーの露光シーケンス、アライメントシーケンス等の基本動作を制御するとともに、レチクルRの透過率に応じて照明光の照度を最適に制御するための演算を行なう。

レチクルRの透過率は、ウェハステージ11に設けられた照度センサー21により検出される。

4の開時間を光量積分（インテグレート）モードで自動制御する場合、シャッター制御系（不図示）にも入力される。シャッター制御系は、主制御系20との間でシャッター4の開閉タイミング、開閉タイミングの情報をやり取りするとともに、主制御系20からの設定値に応じてシャッター4をタイマーモード（定時間方式）で制御することもできる。

コンソール26はオペレータとステッパーとのマン・マシンインターフェイスであり、各種パラメータやコマンドの入出力を行なう。

尚、第1図に示したレンズコントローラ12は、主制御系20との間、及びシャッター制御系との間で各種指令や情報のやり取りを行なっている。そして、このレンズコントローラ12は、ステッパーが稼動している間は、露光処理中か否かを問わず常時投影レンズ10の結像特性の補正制御を行なう。また電力供給源24は、例えば特開昭60-144938号公報に開示されているように、ランプ1への供給電力を露光時のみ一時的に公

照度センサー21の受光面は、使用される最大の大きさのパターン領域PAの投影像（最大有効露光領域）と同等、もしくはそれ以上の大きさ、あるいは投影視野（例えば23mm径の円）を包含する大きさに定められる。

また、レチクルRの透過率に関する情報をバーコードBCに入れておく場合は、レチクルRのローディング時にバーコードBCを読み取るバーコードリーダ22が透過率情報の入力手段になる。

さて、主制御系20は、照度センサー21からの信号、あるいはバーコードリーダ22からの信号に基づいて、減衰フィルター6の駆動系23に、最適な減衰量に対応した駆動指令を出力する。また主制御系20は水銀ランプ1を駆動するための電力供給源24へ、露光シーケンスに対応した適正な電力供給を行なうような指令も出力する。この電力供給源24は、レチクルRを照明する光の照度（強度）を逐次検出する光電センサー25からの信号に基づいて、供給電力の確認を行なう。また光電センサー25からの信号は、シャッター

称値から増大させるフラッシュ露光方式、あるいは公称電力で駆動するノーマル露光方式で動作可能な構成になっている。

第2図は第1図のうち、減衰フィルター6、駆動系23、ランプ1、電力供給源24、及び主制御系20内の照度制御演算部の構成の一例を模式的に表わしたものである。

電力供給源24は、直流入力電圧Viにシリアルに接続された電力制御素子24A、ランプ1に流れる電流値を検出する電流検出回路24B、ランプ1に印加された電圧値を検出する電圧検出回路24C、ランプ1に供給される電力を電流値と電圧値の積により求める電力演算回路24D、ランプ1の供給電力に応じた計測値Vmと外部から設定される基準値Vrとの偏差を求め、この偏差が零になるように電力制御素子24Aをフィードバック制御する誤差増幅回路24Eとを基本構成として備えている。そして本実施例ではさらに、光電センサー25の信号を増幅するアンプ24G、アンプ25Gの出力信号S、と主制御系20から

特開平2-106917(5)

出力された信号 S_s との差を求める減算回路 24 H、切り替えスイッチ 24 J を設ける。

主制御系 20 には、信号 S_s の大きさ、レチクル R の透過率 α に関する情報、露光動作条件の各種パラメータを記憶するデータ記憶部 20 A、照度制御のための演算部 20 B、ランプ 1 の点灯状態をフラッシュ露光方式、又はノーマル露光方式にするためのタイミングやフラッシュアップ率を設定するフラッシュ・ノーマル制御部 20 C、及び照度安定化のための安定化部 20 D が設けられている。さらに、減衰フィルター 6 は円板状のプレートに 4 つのフィルター 6 a、6 b、6 c、6 d が配置され、照明光を離散的に 4 段階に切り替えて減光することができる。ここでフィルター 6 a は単なる透明部で、フィルター 6 b、6 c、6 d の順で光減衰率が大きくなっている。フィルター 6 のプレートは、駆動系 23 の制御によりモータ 6 e で回転駆動される。

このフィルタープレート 6 の各フィルター 6 a、6 b、6 c、6 d は、照明光学系中で投影レンズ

10 の瞳（入射瞳）とほぼ共役な位置、すなわちフライアイレンズ 7 の射出端の位置、もしくはそれとほぼ共役な位置に配設される。

次に本実施例の動作を説明するが、本実施例のステッパーでは第 1 図に示したレンズコントローラ 12 により常時、結像特性の補正を行なっているものとして説明する。

(1) 第 1 の動作モード

まずオペレータは、1 ショット毎の適正露光量に対応した値 Dos 、1 枚のウェハ W 上の露光ショット数 Ns 、ショット領域 SA の大きさによって決まるウェハステージ 11 の 1 ショット毎のステッピング時間 $Tstp$ 、1 枚のウェハの露光が完了してから次のウェハがステージ 11 上に載置されるまでの平均的なウェハ交換時間 Tc 、及びステージ 11 に載置されたウェハ W をグローバルアライメントするために、ウェハ上のアライメントマークを検出して、ウェハ W 上の最初のショット領域をレチクル R に合わせるまでに要する平均的なアライメント時間 $Talg$ 等を、コンソール 26 から入力する。尚、アライメント時間 $Talg$ は、ファーストプリントの際は零である。また各時間 $Tstp$ 、 Tc 、 $Talg$ は、ステッパーに設けられ

た計時カウンタを使って過去に実測したデータに基づいてオートセットするようにしてもよい。以上の各露光動作条件のデータは、データ記憶部 20 A にデータ $Dexp$ として記憶される。

次に主制御系 20 は、安定化部 20 D から信号 S_s を出力してスイッチ 24 J を図示の状態から切り替えて、電圧 Vd を零にし、フラッシュ・ノーマル制御部 20 C からノーマル露光時の公称電力に対応した電圧 Vp を加算回路 24 F に出力させる。加算回路 24 F は基準値 Vr として、 $Vr = Vp$ を出力するので、ランプ 1 は公称入力電力に応じた強度で点灯する。また主制御系 20 は、駆動系 23 を介して、例えば減衰率が零のフィルター 6 a を選択するように制御する。

次にレチクル R が存在しない状態、もしくは素ガラスをレチクルの代りに設置した状態で、主制御系 20 はシャッター 4 を開く。このとき投影レンズ 10 の直下に、照度センサー 21 が位置するようにウェハステージ 11 を位置決めしておく。またレチクルブラインドは全開、又は最大有効露

特開平2-106917(6)

光領域に合わせて開けておく。そして主制御系20は、このときの照度センサー21の出力を P_0 として記憶する。

次に、第1図に示すように露光用のレチクルRを位置決めし、同様にシャッター4を開放して照度センサー21からの出力を P_r として記憶する。そして主制御系20はレチクルRの透過率 η を P_r/P_0 の演算によって求め、それをデータ記憶部20Aへ格納する。透過率 η は $0 < \eta < 1$ の範囲である。尚、この動作の間、光電センサー25で受光した照明光の照度（正確には単位時間あたりのレチクル上照明光量） I_f を求めておき、この照明光量 I_f と適正露光量の値 D_{os} とに基づいて1ショットの平均露光時間 T_{exp} を算出してデータ記憶部20Aへ格納する。平均露光時間 T_{exp} は $T_{exp} = D_{os} / I_f$ で算出される。

次に主制御系20の演算部20Bは、単位時間当りに投影レンズ10へ入射（又は透過）する平均的な入射エネルギー量（平均蓄積エネルギー量） E を算出する。そして本実施例では、積数枚

のウェハを連続して処理することを前提として、1枚のウェハの処理時間にしめる照明光の通過時間合計の割合、すなわち露光時間効率 τ を用いて、以下の式（1）に基づいて入射エネルギー量 E を算出する。

$$E = \eta \cdot I_f \cdot \tau + \Delta E \quad \dots\dots (1)$$

ここで単位時間当りのエネルギー量 ΔE は、露光動作中にウェハWで反射された照明光の一部が投影レンズ10に入射することによって生ずる誤差分である。このエネルギー量 ΔE は、かなり小さい場合が多いので無視してもかまわないが、反射率の高いウェハ、例えば表面にアルミ層をもつウェハでは無視できないこともある。

さらに本実施例では、例えば特開昭62-183522号公報に開示された手法によって、ウェハの反射率に関する値 K_w を求めてあるものとする。そこでウェハ面上での単位時間当りの照明光量を $K \cdot I_f$ （ K は定数）とすると、単位時間当りの平均エネルギー量 ΔE は式（2）で求められる。

$$\Delta E = \eta \cdot K \cdot I_f \cdot K_w \cdot \tau \quad \dots\dots (2)$$

従って式（1）と（2）をまとめると式（3）が得られる。

$$E = \eta \cdot \tau \cdot I_f \cdot (1 + K \cdot K_w) \quad \dots\dots (3)$$

一方、露光時間効率 τ は、初めに設定された露光動作条件の各パラメータ N_s 、 T_c 、 T_{alg} 、 T_{slp} 、 T_{exp} から式（4）によって求める。

$$\tau = \frac{N_s \cdot T_{exp}}{N_s \cdot (T_{exp} + T_{slp}) + T_{alg} + T_c} \quad \dots\dots (4)$$

この式（4）で分母は1枚のウェハの処理に要するトータルの時間であり、分子は1枚のウェハにおけるトータルの露光時間である。

尚、式（4）において、照明光の照度（照明光量 I_f ）を調整した後においては、露光時間 T_{exp} が変化することになるので、式（4）は次の式（5）で換うとよい。

$$\tau = \frac{N_s \cdot T_{exp}}{N_s \cdot T_{exp} + T_{ss}} \quad \dots\dots (5)$$

この式（5）で時間 T_{ss} は、

$$T_{ss} = N_s \cdot T_{slp} + T_{alg} + T_c \quad \dots\dots (6)$$

であり、一定値と考えてよい。

演算部20Bは上記式（3）、（5）に各パラメータの値を代入して、平均入射エネルギー量 E を算出する。

次に演算部20Bは、投影レンズ10に対して予め設定された許容平均入射エネルギー量 E_m と、算出されたエネルギー量 E との大小関係（ $E_m - E$ ）を求める。ここで許容エネルギー量 E_m とは、この値を瞬間的にでも超えると、ただちに投影レンズ10に悪影響を与えるというのではなく、瞬間的なエネルギー量の許容値よりはかなり低めに設定される。この許容エネルギー量 E_m は予め実験等により求め、データ記憶部20Aに記憶されている。

その結果演算部20Bは、 $E_m - E < 0$ のとき、照明光の照度を低下させるものと判定する。

そこで演算部20Bは、照度低下に必要な照明光の減衰率を求める。

そのため演算部20Bは、式（3）、（5）を

まとめて変形した式(7)の演算を行なう。

$$I f = \frac{E}{\eta \cdot (1 + K \cdot K_w)} \cdot \frac{N_s \cdot T_{exp} + T_{ss}}{N_s \cdot T_{exp}} \quad \dots (7)$$

ところが露光時間 T_{exp} は $T_{exp} = D o s / I f$ であるから、式(7)は式(8)に変形される。

$$I f = \frac{E}{\eta \cdot (1 + K \cdot K_w)} \cdot \frac{N_s \cdot D o s + I f \cdot T_{ss}}{N_s \cdot D o s} \quad \dots (8)$$

さらに式(8)を照明光量 $I f$ についてまとめると式(9)に変形される。

$$I f = \frac{E \cdot N_s \cdot D o s}{\eta \cdot (1 + K \cdot K_w) \cdot N_s \cdot D o s - E \cdot T_{ss}} \quad \dots (9)$$

そこで演算部20Bは式(9)の E に E_m を代入するとともに、他の定数 η 、 K 、 K_w 、 N_s 、 $D o s$ 、 T_{ss} を代入して、許容エネルギー量 E_m に対応した許容照明光量 $I f_m$ を算出する。

露光動作条件のパラメータのうち、露光時間 T_{exp} を、 $T_{exp} = D o s / I f_c$ の演算により修正し、データ記憶部20Aに格納する。ただし、露光量制御がインテグレート・モードのときは、シャッター4の開閉時間(露光時間 T_{exp})が照明光量 $I f_c$ に対応して自動的に補正されるので、露光時間 T_{exp} の修正演算は不要であるが、タイマー・モードのときは、修正された露光時間 T_{exp} だけシャッター4の開放が行なわれる。またより完全を期するなら、タイマー・モードの時は減衰後の照度を実際に測定して減光量を確認してから、露光動作に移っても良い。以上によって、露光動作条件の各パラメータが決まるので、主制御系20は露光シーケンスに従って順次ウェハWを露光していく。尚、第2図中で、露光に必要なパラメータが修正されたときは、その修正データは $D c h$ として演算部20Bから出力される。

以上、本動作ではレチクルRの透過率 η を実測する際に、フラッシュ・ノーマル制御部20Cはノーマル露光に対応した電圧 V_p を出力するもの

ここで先に求めた照明光量 $I f$ と $I f_m$ との比を求めれば、 $I f / I f_m$ が求めるべき減衰率である。そして演算部20Bは、この算出された減衰率よりも大きな減衰率をもつフィルター6を選ぶ。

3つのフィルター6b、6c、6dのフィルター6aに対する減衰率は予めデータ記憶部20Aに格納されている。従って、算出された $I f / I f_m$ よりは小さくなく、かつできるだけ $I f / I f_m$ に近い減衰フィルターが選ばれる。

これによって演算部20Bは、選ばれたフィルターを要する信号 S を駆動系23に出力する。

次に主制御系20は、選ばれた減衰フィルターのもとで得られるレチクル上での単位時間当りの照明光量 $I f_c$ を算出する。選ばれたフィルターのフィルター6aに対する減衰率を αc とすると、

$$I f_c = \alpha c \cdot I f \quad \dots (10)$$

である。

この照明光量 $I f_c$ が実際の露光動作におけるレチクル上での照度となるから、演算部20Bは

とした。しかしながら実際の露光動作をフラッシュ露光で行なうときは、ランプ1の公称入力電力の約2倍程度の電力に対応した電圧 V_p が出力されるように演算部20Bは信号 S をフラッシュ・ノーマル制御部20Cに出力する。また透過率 η の情報をバーコードリーダ22から入力する場合、あるいはコンソール26からオペレータによって入力する場合は、照度センサー21を用いた実測が不要であることは言うまでもない。さらに、レチクルの透過率 η が小さいために、フラッシュ露光モードで、かつフィルタープレート6が減衰率零のフィルター6aにセットされる場合もある。この場合、レチクルR上での照明光量は、照明系が出力し得る最大の照度に対応しており、その状態においても許容エネルギー量 E_m を超えることがないときは、そのまま露光することになる。

尚、本実施例では4段階の減光率をもつフィルターを用いたが、少なくとも2段階に照度切り替えできるフィルターを用いたステッパーでは、同様の効果が得られる。

(2) 第2の動作モード

第1の動作モードでは、フラッシュ露光とノーマル露光との切り替えによるランプ1の発光強度の2段階切り替えと、フィルター6による減衰率の4段階の切り替えとを組み合わせ、離散的な照度調整が可能であった。このため、許容平均入射エネルギー量 E_m に対して実露光時の平均入射エネルギー量 E はほとんどの場合低く押えられることになる。そこで平均入射エネルギー量 E を極力 E_m に近づけた露光動作を第3図を参照して以下に説明する。

基本的な動作は、第1の動作モードと同じであり、式(3)、(5)、(9)を用いて、許容エネルギー量 E_m に対応した照明光量 I_{fm} を求める。

第3図に示すように、例えばフィルター6a(減衰率零)のもとでノーマル露光モードにしたときの照明光量を I_{f1} 、フラッシュ露光モードにしたときの照明光量を I_{f2} とすると、算出された許容照明光量 I_{fm} が I_{f1} よりも大きいと

信号 S_1 を出力する。これによって、実露光時は許容照明光量 I_{fm} とはほぼ等しい照度が得られるように、ランプ1はフラッシュモード(シャッター4の開放中のみ公称定格電力よりも大きな電力により点灯)で駆動される。

次に、フィルター6による減衰が零の状態で算出された許容照明光量 I_{fm} が、ノーマル露光時の照明光量 I_{f1} よりも低い場合を、第4図を参照して説明する。通常の水銀ランプは、定格入力電力よりも小さな電力で駆動すると、放電が不安定になったり、放電が停止してしまう。このため、定格電力よりも下げてランプ1を駆動することはさける必要がある。そこでこの場合は、フィルター6による減衰と組み合わせ制御する。

まず第4図に示すように、フィルター6の切り替えによって変化する照明光量の供給電力調整による制御範囲を確認する。例えばフィルター6aの減衰率を零(透過率 β は1.0)、フィルター6bの減衰率を20%($\beta=0.8$)、フィルター6cの減衰率を40%($\beta=0.6$)そしてフィルタ

きは、それ以上照度を上げることはできない。一方、許容照明光量 I_{fm} が I_{f1} と I_{f2} の間にあるときは、フィルターを6aにしたままランプ1の発光強度を調整することができる。

この照明光量 I_{f1} 、又は I_{f2} の実測値は、光電センサー25により検出され、データ記憶部20Aに記憶されているので、演算部20Bは、加算回路24Fに印加される電圧 V_p の補正演算を行なう。フラッシュモードのときの電圧 V_p が V_{p1} であるとすると、第3図に示すように、許容照明光量 I_{fm} を得るための電圧 V_p は、次の式(11)により求められる。

$$V_p = V_{p1} - \Delta V_{p1} = V_{p1} \cdot (I_{f1} / I_{fm}) \quad \dots\dots (11)$$

ノーマルモードのときも同様で式(12)により求める。

$$V_p = V_{p2} + \Delta V_{p2} = V_{p2} \cdot (I_{f2} / I_{fm}) \quad \dots\dots (12)$$

そして演算部20Bは、フラッシュ・ノーマル制御部20Cへ算出した新たな電圧 V_p に応じた

-6dの減衰率を60%($\beta=0.4$)とすると、許容照明光量 I_{fm} は、フィルターの透過率 β が0.6、又は0.4のときに、制御範囲内に入ることがわかる。そこで演算部20Bは減衰率が40%($\beta=0.6$)のフィルター6cを選んでセットする。同時に演算部20Bは制御範囲の上限 $\beta \cdot I_{f1}$ 、又は下限 $\beta \cdot I_{f2}$ を求める。次に演算部20Bは次の式(13)の関係から、目標照明光量 I_{fr} を求める。

$$\frac{\beta \cdot I_{f1}}{I_{fm}} = \frac{I_{f1}}{I_{fr}} \quad \text{又は} \quad \frac{\beta \cdot I_{f2}}{I_{fm}} = \frac{I_{f2}}{I_{fr}} \quad \dots\dots (13)$$

この目標照明光量 I_{fr} は、フィルター6による減衰が等だった場合に、レチクル上で得られるべき照度に対応している。この式(13)からも明らかなように、適正な減衰率(透過率 β)が定めれば、 I_{fr} は $I_{fr} = I_{fm} / \beta$ により一義的に求められる。また I_{fr} はかならず $I_{f1} \leq I_{fr} \leq I_{f2}$ に設定される。後は、先の式(11)、又は(12)の I_{fm} に I_{fr} を代入して、

以下の演算によりランプ供給電力に対応した電圧 V_p を求める。

$$V_p = V_{p1} \cdot \left(\frac{I_{f1}}{I_{f2} \cdot \beta} \right), \text{ 又は } \\ V_p = V_{p2} \cdot \left(\frac{I_{f1}}{I_{f2} \cdot \beta} \right)$$

以上、第2の動作モードでは、投影レンズを許容平均入射エネルギー量 E_m で決まる限度いっばいのところで使うことができるため、露光シーケンス上の効率が最もよくなるといった利点がある。

(3) 第3の動作モード

この動作モードは、主制御系20内の安定化部20Dを用いてランプ1の発光強度を一定値に安定させるものである。一般に水銀ランプの発光強度は入力電力に応じて変化するが、そのリニアリティはあまりよくない。そこで露光中のレチクル上照度を光電センサー25で検出し、ランプ1の発光強度の変化分を補正する電圧 V_d をアンプ24G、減算回路24H、及び安定化部20Dによって作り出し、この電圧 V_d を加算回路24Fにより電圧 V_p に加えてランプ1の発光強度を安定

給電力を決定する基準値 V_r は式(15)で表わされる。

$$V_r = V_p + V_d = V_p + (S_1 - S_2) / \beta \quad \dots\dots (15)$$

このため、例えばランプ1の発光強度が照明光量 I_{f1} に対応した値から増大すると、電圧 V_d は負方向に変化し、基準値 V_r を低下させる。これによってランプ1の発光強度は低下し、常に一定の発光強度を維持するようにフィードバック制御が行なわれる。

以上、本発明の第1の実施例においては、照度減衰用のフィルター6として、離散的なものを用いたが、連続可変のものでもよいことは言うまでもない。連続可変方式の場合、照明光路中で開口径を可変にするものは、投影レンズ10の端面にできる光源像(フライアイレンズ7の射出端の光源像)の大きさを変化させ、ウェハ面上での照明光の開口数(NA)を変化させることがあるのであまり好ましくない。従って、照明光束の径(特に端面での径)を変えずに減光するフィルタ

化する。この場合、ノーマル露光モードのときはスイッチ24Jを第2図に示した位置に固定しておくが、フラッシュ露光モードのときはシャッター4の開放中のみスイッチ24Jを第2図の位置にし、他の非露光期間中はスイッチ24Jをアースに落すように信号 S_1 によって切り替える。

さて、例えば先に説明した方法で、許容照明光量 I_{f1} が定められたとすると、演算部20Bはアンプ24Gが許容照明光量 I_{f1} のときに出力すべき信号 S_1 の大きさを算出し、その値を信号 S_2 として安定化部20Dへ送る。安定化部20Dはフィルター6による減衰が行なわれる場合は、その減衰率(透過率 β)に応じて減算回路24Hの増幅率を補正するとともに、信号 S_1 で入力した値を信号 S_2 として減算回路24Hに印加する。減算回路24Hは、光電センサー25が照明光を受光している間は次の式(14)により電圧 V_d を算出する。

$$V_d = (S_1 - S_2) / \beta \quad \dots\dots (14)$$

従って1ショットの露光動作中、ランプ1の供

給がよい。またフィルターの材質としては、金属板又はセラミック板にランダムな配置で微小孔を形成したもの、あるいは金属性のメッシュを用いると、ランプ1からの強力な照明光の照射による高温化に耐え得るので好都合である。またフィルターは1枚、ないし複数枚を組み合わせる構成にし、その組み合わせ枚数を自動的に切り替えるようにしてもよい。

また本実施例で説明した露光時間効率 τ については、ステッパーのウェハ処理のシーケンスによって最適な演算を行なう必要がある。とくに、ウェハW上の各ショット領域SA毎にマークを検出して位置合わせを行なうダイ・バイ・ダイ(又はサイト・バイ・サイト)方式の場合、1ショット毎のアライメント時間を T_{a1g} 、グローバルアライメントの時間を T_{a1g} とすると、先の式(6)は式(6a)のようになる。

$$T_{ss} = N_s(T_{atp} + T_{a1g}) + T_{a1g} + T_c \quad \dots\dots (6a)$$

次に本発明の第2の実施例を第5図を参照して

特開平2-106917(10)

説明する。第1の実施例と異なる点は、許容平均入射エネルギー量 E_m に達するかどうかを、レンズコントローラ12で算出されている特性変動予測値から判断する点である。第5図に示した方法は、特開昭63-58349号公報に開示された方法と同じである。

さて第5図において、時間 t_1, t_2, \dots, t_n は一定時間 Δt (2mSec ~ 5Sec) 毎のサンプリング時刻を表わし、レンズコントローラ12は時間 Δt の間に投影レンズ10へ入射したエネルギー量 ΔQ を式(16)によって求める。

$$\Delta Q = \eta \cdot I_f \cdot \Delta t \cdot (1 + K \cdot K_w) \cdot D_u \quad \dots (16)$$

ここで D_u は、 Δt 内におけるシャッター4の開時間合計の比率である。そしてあるサンプリング時刻 t_n での予測値 Y_n を用いて、次の Δt 後の時刻 t_{n+1} での予測値 Y_{n+1} を求める。ここで投影レンズ固有の特性変動の減衰率 (Δt の間に変動値が初期値から変化する率) を C_t ($0 < C_t < 1$) とすると、レンズコントローラ12は式

(17)を演算する。

$$Y_{n+1} = C_t (Y_n + \Delta Q) \quad \dots (17)$$

以下、レンズコントローラ12は Δt の経過のたびに式(17)を演算していくことで、入射エネルギー量のリアルタイムな変化特性を求める。そしてこの変化特性に従って倍率や焦点の変動を補正していく。そこで例えば時刻 t_1 から t_2 までは、 Δt 間の入射エネルギー量 ΔQ_1 が ΔQ_2 とすると、主制御系20は各サンプリング時刻毎に予測値 Y_n をモニターし、許容平均入射エネルギー量 E_m に対応して定められた許容値 Y_m を超えるかどうかを判断する。第5図で主制御系20は時刻 t_1 の時点で許容値 Y_m を超えると判断し、時刻 t_1 以降はレチクル上の単位時間当りの照明光量 I_f を減光フィルター6、又はランプ制御により低下させる。もちろんこれに伴って露光時間 T_{exp} も少し長くなる。従って次のサンプリング時刻 t_2 からは新たな入射エネルギー量として ΔQ_2 ($\Delta Q_1 < \Delta Q_2$) が使われる。

この結果、予測値の変化は、特性 C_a から特性

C_b のように変更され、許容値 Y_m 以下に押えられる。尚、第5図で時刻 t_1 以降は露光が行なわれないため、予測値 Y_{n+1}, Y_{n+2} は単調に減少していく。

以上、本実施例によれば、ほぼリアルタイムで算出される入射(蓄積)エネルギー量の予測値に基づいて、投影レンズのエネルギー量に関する限界値を判断するので、1枚のウェハの露光処理中においても、限界まで投影レンズを用いることができる。尚、第1の実施例で求めた許容平均入射エネルギー量 E_m と本実施例で求めた許容値 Y_m との兼ね合いで照度調整の限界値、あるいは照度調整量を決定してもよい。

また、1枚のウェハの露光動作中に照度を変え場合は、式(16)の演算において、 I_f が変化するようになるので、 Δt 間の新たな入射量 ΔQ を求めるために、光電センサー25からの信号 S を Δt の間だけ積算する積分回路を設け、その積分値を式(16)の $I_f \cdot \Delta t \cdot D_u$ の代りに用いればよい。

以上本発明の第1、第2の実施例においては、水銀ランプを用いたステッパーについて説明したが、紫外線の強力なレーザビームを発生するエキシマレーザ源を光源としたステッパーでも全く同様の効果が得られる。

エキシマレーザの場合は、パルス発振であるため、各パルス毎の光量(例えばピーク値)やパルス間隔(発振周期)を調整すればよい。また、フィルター6の減衰率を正確に知る必要があるときは、レチクルRがない状態でウェハステージ11上の照度センサー21を用いると、極めて簡単に減衰率を求められる。さらに、各実施例では、レチクルのパターンの粗密、透明部の有無等に起因した透過率を論じたが、エマルジョンマスク等ではパターンそのもののコントラストが中間調であるため、照度センサー21はパターンコントラスト(濃度)を測定することになる。このエマルジョンマスクの場合にも、本発明を同様に適用することができる。

ところで各実施例では、ステッパーを例にした

が、投影光学系を用いたミラープロジェクションアライナー、等倍投影レンズによる一括露光装置でも同様の効果が得られる。さらに、本発明はX線露光装置に対しても同様の考え方で、マスクの熱影響の対策を行なうことができる。第6図は典型的なX線露光装置の構成を示し、X線源1AからのX線1BはマスクMのパターン領域PAを介してプロキシミティ・ギャップで配置されたウェハWへ達する。マスクMは一般的には、シリコン基板の中央をくりぬいたフレームM1と、フレームM1の下面に張設されたポリイミド等の薄膜(1~5 μ m厚)Msから成り、パターン領域PAは薄膜Ms上に金属等のX線吸収体を蒸着して形成される。この場合、X線源1AがSOR等のように強力なX線1Bを発生すると、パターン領域PAの金属層はX線の吸収により温度変化を起す。このためパターン領域PAが熱膨張を起し、マスクMのパターン面の平面性が失われる。そこでX線1Bの照度を低下させるためのフィルタ6Aを設けるか、X線源1Aを制御する系を設

け、熱膨張の影響が生じない程度にマスクMへ照射されるX線の照度を押える。マスクMの熱膨張は、パターン領域PA内の金属層の面積に対応しているため、ウェハステージ18上にX線センサー21Aを設けてマスクMのX線に対する透過率(又は濃度)を計測し、許容値以上になるときはフィルタ6Aを挿入すればよい。

(発明の効果)

以上本発明によれば、投影光学系もしくはマスクに照明光(エネルギー線)のエネルギーが蓄積することによって生じる影響を、マスクの透過率や吸収率の差異にかかわらず、ほぼ一定に近づけることができ、極めて歩留りよく半導体製造ができる。しかも露光シーケンス上の効率を格段に高めることができる。

4. 図面の簡単な説明

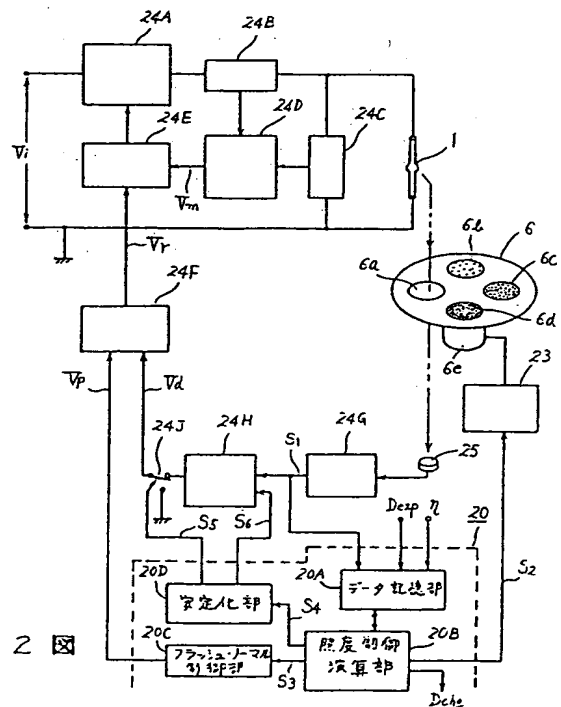
第1図は本発明の実施例による露光装置の構成を示す斜視図、第2図は主制御系を中心とした各部の具体的な構成を示すブロック図、第3図、第4図は照度調整の方法を説明する図、第5図は投

影光学系の入射エネルギー量の予測演算の方法を説明するグラフ、第6図はX線露光装置の構成を示す図である。

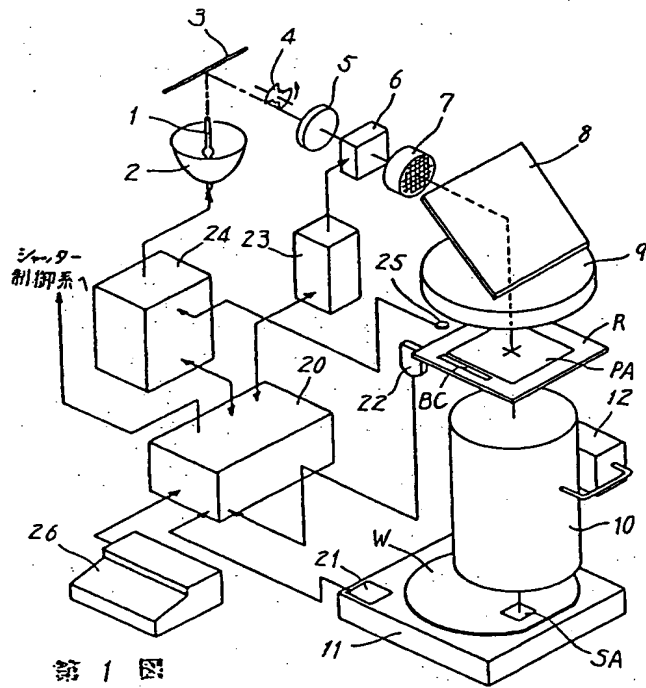
(主要部分の符号の説明)

- 1 … ランプ
- 4 … シャッター
- 6 … 減光フィルター
- 10 … 投影レンズ
- 12 … レンズコントローラ
- 20 … 主制御系
- 21 … 照度センサー
- 23 … 駆動系
- 24 … 電力供給源
- 25 … 光電センサー
- R … レチクル
- W … ウェハ

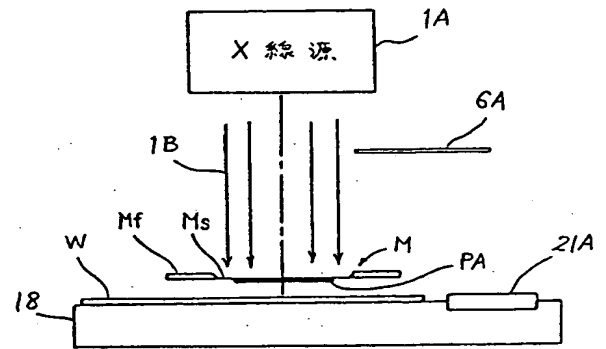
出願人 株式会社 ニコン
代理人 渡辺 隆 男



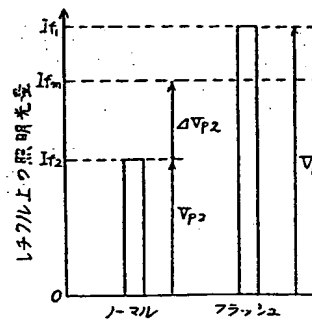
第2図



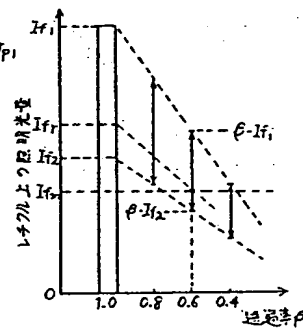
第 1 図



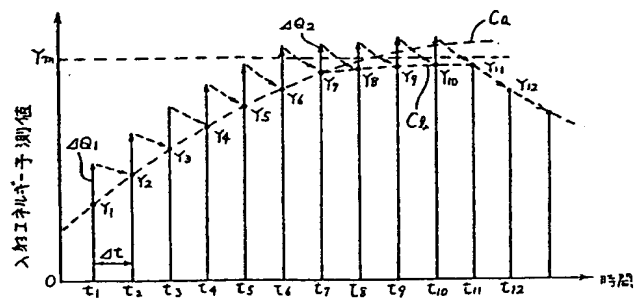
第 6 図



第 3 図



第 4 図



第 5 図